

RANCANGAN TERMoeLEKTRIK GENERATOR (TEG) PORTABEL PADA KNALPOT SEPEDA MOTOR DENGAN MATERIAL ALUMINIUM SEBAGAI KONDUKTOR

Nicolas Bonardo¹, Chairul Hudaya²

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424 Indonesia

²Program Studi Magister Manajemen Inovasi, Sekolah Pascasarjana Universitas Teknologi Sumbawa
Jl. Olat Maras Raya, Batu Alang, Moyo Hulu, Sumbawa, Nusa Tenggara Barat Indonesia

*Corresponding Author email: c.hudaya@uts.ac.id

Abstrak

Diterima :

Bulan Januari
2021

Diterbitkan:

Bulan Februari
2021

Keyword:

Termoelektrik
Generator (TEG),
Knalpot, Sepeda
Motor, Portabel

Termoelektrik Generator (TEG) merupakan penerapan modul termoelektrik untuk menghasilkan listrik sesuai dengan efek seebeck yang memanfaatkan perbedaan suhu yang terjadi pada kedua sisi modul. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat pembangkit listrik portabel dengan memanfaatkan rugi energi pada knalpot sepeda motor agar dapat menghasilkan daya sebesar 10W. Rancangan yang dibangun berupa rancangan elektrik dengan konfigurasi seri dan konfigurasi seri-paralel sebagai pembanding, menggunakan 8 buah termoelektrik modul tipe SP1848-27145 dan modul DC/DC konverter. Pada rancangan mekanik terdiri atas 4 lapisan dengan visualisasi menggunakan software Autodesk Inventor. Bentuk alat disesuaikan dengan bentuk knalpot sehingga dapat dilepas dan dipasang kembali dengan dimensi 164,3 mm × 205 × 23,135 mm dan dapat menjaga perbedaan suhu (ΔT) sebesar 60°C. Hasil rancangan yang dipilih menggunakan konfigurasi seri karena memiliki besaran daya yang mendekati target sebesar $\leq 9W$ dengan keandalan yang baik dan memiliki proteksi pada modul step-down konverter.

PENDAHULUAN

Sepeda motor konvensional menghasilkan panas berupa gas yang dikeluarkan melalui knalpot sebagai hasil dari proses perubahan energi. Dimana panas maksimal knalpot berkisar pada nilai 216,9°C (M. Rodif, 2020). Menurut sebuah penelitian bahwa Knalpot sepeda motor mampu menghasilkan suhu lingkungan di kota Depok rata – rata 26,6°C (Faiz Ramadhan dan Prima Jiwa Osly, 2019). Energi panas yang dihasilkan knalpot ini dapat dimanfaatkan dengan cara merubahnya ke dalam bentuk energi listrik menggunakan teknologi Termoelektrik Generator (TEG). TEG dengan sistem pendingin yang baik diharapkan dapat memiliki $\Delta T = 60^\circ C$, sehingga tegangan dan arus yang dihasilkan oleh setiap termoelektrik modul sebesar 2,4 V dan 0,469 A (S. Suryakant Solanki, A. Balkrishna Chavan, O. Nandkumar Tharwal, T. Mohan Ghadi, S. P. Sawant, dan S. Sakharan Bondre, 2018).

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun suatu alat pembangkit listrik portabel yang ramah lingkungan menggunakan TEG dengan memanfaatkan panas pada permukaan knalpot sepeda motor dengan harapan dapat digunakan untuk kebutuhan pengisian daya peralatan listrik lainnya.

LANDASAN TEORI

Modul Termoelektrik

Termoelektrik merupakan fenomena perubahan energi listrik menjadi termal (suhu) atau energi termal menjadi listrik. Konsep dari termoelektrik pada sistem pendinginan yaitu saat modul termoelektrik dialiri listrik menyebabkan dua sisi pada modul terjadi perubahan suhu dimana satu

sisi menyerap panas sedangkan sisi lainnya melepas panas, contohnya penerapannya seperti pada kulkas, dan pemanas air.

perbedaan suhu pada dua sisi termoelektrik menyebabkan terjadinya suatu perpindahan elektron. Semakin besar nilai perbedaan antara suhu yang terjadi berdampak pada semakin cepatnya perpindahan elektron, sehingga arus yang dihasilkan juga akan menjadi semakin besar (A. W.. J. Culp, 1989).

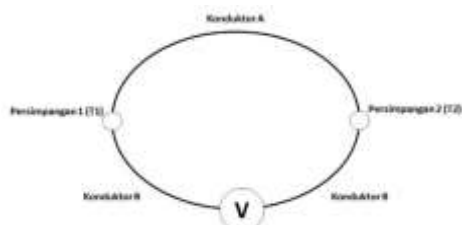


Gambar 1 Module Termoelektrik

Pada lapisan terluar modul ini memiliki material keramik yang berfungsi memberikan proteksi pada modul termoelektrik. Penggunaan bahan keramik dikarenakan memiliki sifat dielektrik yang tahan terhadap suhu dan juga memiliki kekuatan yang baik. Di dalam modul termoelektrik terdapat beberapa PN junction yang dihubungkan secara seri sehingga membentuk suatu thermocouple (T). Kumpulan seri TC akan menghasilkan nilai tegangan dan arus lebih besar.

Efek Seebeck

Pada tahun 1821 Thomas Johann Seebeck menemukan fenomena efek seebeck pada pergerakan jarum kompas yang diapit oleh tembaga dan besi yang dihubungkan dengan salah satu sisi logam dipanaskan. Johann menyimpulkan fenomena ini timbul karena adanya medan magnet akibat dari perbedaan suhu pada kedua logam.



Gambar 2 Diagram Seebeck

Gambar 2 disebut juga sebagai termokopel. Pada setiap konduktor memiliki jumlah elektron yang berbeda – beda sehingga ketika dipanaskan pada salah satu sisi, elektron akan dapat bergerak dari sisi yang dipanaskan ke sisi lainnya. Perpindahan elektron inilah yang menimbulkan adanya arus listrik. Secara matematis efek seebeck dapat di formulasikan dalam persamaan (1) dalam proses konversi panas menjadi listrik.

$$U = (S_A - S_B)(T_1 - T_2) \quad (1)$$

Dimana $S(\mu V/K)$ dan $T(K \text{ or } ^\circ C)$ sebagai koefisien Seebeck dan temperatur. Koefisien Seebeck (S) yang umum pada logam adalah lebih rendah dari faktor 10 hingga 100, pada semikonduktor biasanya lebih tinggi dibandingkan faktor yang identik (R. Wirawan, 2012).

Termoelektrik Generator

TEG dikenal juga sebagai seebeck generator dengan beberapa keuntungan seperti: rancangan yang sederhana, tidak adanya bagian yang bergerak, umur penggunaan yang relatif panjang, tidak membutuhkan pemeliharaan yang rutin dan ramah lingkungan (tidak mengandung produk kimia). TEG biasanya dibuat dari banyak koneksi modul termoelektrik. Munculnya efek seebeck seiring adanya perbedaan suhu $\Delta T = T_{hot} - T_{cold}$, sehingga antara dua ujung kabel

TEG menghasilkan tegangan listrik (N. Jaziri, A. Boughamoura, J. Müller, B. Mezghani, F. Tounsi, and M. Ismail, 2019).

MATODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu studi literatur mengenai topik ini dengan mengacu pada jurnal, paper, dan beberapa artikel di internet. Untuk rancangan mekanik dan elektrik dilakukan secara mandiri dengan bantuan dari pembimbing dan proyek yang ada di internet, dengan menyesuaikan bentuk yang dibutuhkan berdasarkan kondisi aslinya dengan melakukan pengukuran sehingga rancangan dapat memiliki tingkat keberhasilan yang tinggi dengan menggunakan software *Autodesk Inventor*.

Nilai tegangan dan arus pada konfigurasi seri dan seri-paralel diperoleh dengan perhitungan menggunakan hukum *Kirchhoff's*.

$$\Sigma V_{seri} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (2)$$

$$\Sigma I_{seri} = I_n \quad (3)$$

$$\Sigma V_{seri} = V_n \quad (4)$$

$$\Sigma I_{parallel} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (5)$$

Batasan pada penelitian ini adalah rancangan alat berdasarkan kondisi tempat domisili penulis yaitu pada kondisi suhu kota Depok. Untuk



bentuk alat disesuaikan dengan knalpot sepeda motor penulis yaitu *Honda Vario 110 cc* yang memiliki bentuk knalpot yang sama pada kebanyakan sepeda motor matic di Indonesia.

Gambar 3 Knalpot Honda Vario 110 cc

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan Elektronik

Rancangan elektrik pada penelitian ini memiliki 2 variasi konfigurasi elektrik yaitu konfigurasi seri-paralel dan konfigurasi seri yang bertujuan untuk menemukan konfigurasi yang tepat yang dapat mampu menghasilkan daya keluaran sebesar 10W (5V 2A). Komponen untuk rancangan elektrik pembuatan TEG pada kedua konfigurasi menggunakan modul termoelektrik *SP1848-27145* dan DC/DC Konverter (*Step-up/down*).



Gambar 4 Modul termoelektrik SP1848-27145

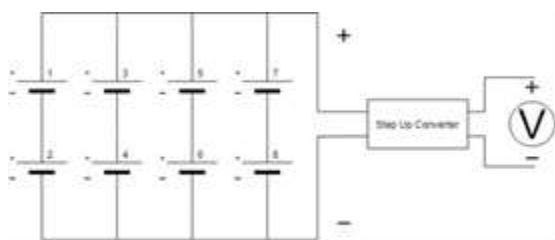
Modul termoelektrik SP1848-27145 merupakan modul termoelektrik yang memiliki kapabilitas lebih baik daripada jenis modul lainnya dalam penerapan sebagai generator. Modul termoelektrik SP1848-27145 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

TABEL 1 SPESIFIKASI MODUL TERMOELEKTRIK SP1848-27145

Modul termoelektrik SP1848-27145					
Size	40 mm x 40 mm x 4 mm				
Operation	-30°C to +120°C				
Temperature	Operating				
Temperature	20	40	60	80	100
Differential (°C)					
Open Circuit Output	0,97	1,8	2,4	3,6	4,8
Voltage (V)					
Short Circuit Output	225	368	469	558	669
Current (mA)					

Konfigurasi Seri-Paralel

Konfigurasi ini dipilih karena dapat menghasilkan arus yang lebih tinggi dikarenakan adanya rangkaian paralel sehingga nilai arus dijumlahkan pada setiap cabang sesuai dengan hukum *Kirchoff* dan nilai tegangan yang sama pada setiap cabangnya. Pada perbedaan suhu sebesar 60°C, konfigurasi ini dapat menghasilkan arus sebesar 1,876 A dengan tegangan 4,8 V sehingga daya nya sebesar 9,0048 W.

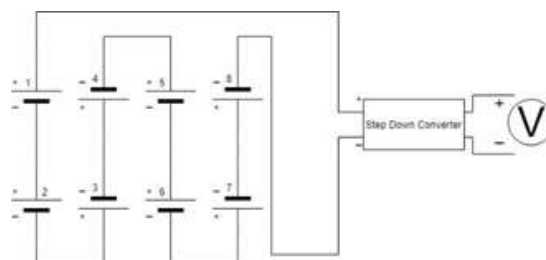


Gambar 5 Konfigurasi Seri-Paralel

Konfigurasi ini memiliki daya masukan yang baik untuk digunakan dan sudah mendekati tujuan penelitian. Namun memiliki keandalan yang kurang baik, karena ketika tegangan pada setiap cabangnya berbeda akan menyebabkan arah arus yang tidak sesuai dan dapat menyebabkan panas berlebih.

Konfigurasi Seri

Konfigurasi seri bertujuan untuk memiliki nilai tegangan yang besar, namun pada konfigurasi ini memiliki nilai arus yang kecil dikarenakan kemampuan keluaran arus Modul termoelektrik yang tergolong lemah



Gambar 6 Konfigurasi Seri

Dengan menggunakan konfigurasi pada Gambar 6, dengan perhitungan $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ dapat menghasilkan tegangan sebesar 19,2 V dan 0,469 A, dapat dikatakan memiliki daya keluaran sebesar 9,0048 W. Hasil ini sudah mendekati target, namun nilai tegangan terlalu tinggi dan arus masih kecil. Solusi untuk hal ini dengan menggunakan *Step-down converter*



Gambar 7 USB Charger LED Step Down Buck Converter Voltmeter Module

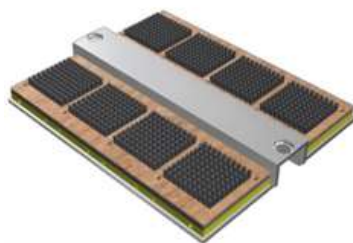
TABEL 2 SPESIFIKASI USB CHARGER LED STEP DOWN BUCK CONVERTER VOLTMETER MODULE

USB Charger LED Step Down Buck Converter Voltmeter Module	
Input Voltage	4,5V-40V
Output Voltage	5 V (Ketika input voltage 6,5V – 40 V) 2 A (Ketika input voltage 6,5V – 40 V)
Output Current	21 mm x 60mm x 10mm
Dimension	Overheat Protection & Short Circuit Protection
	✓

Konverter yang digunakan adalah *USB Charger LED Step Down Buck Converter Voltmeter Module* yang memiliki kelebihan dimana ketika tegangan masukan berada pada $6,5\text{ V} - 40\text{ V}$ maka keluaran yang dihasilkan akan sebesar $\leq 5\text{ V}$ dan $\leq 1,8\text{ A}$, dapat dikatakan alat mampu menghasilkan daya sebesar $\leq 9\text{ W}$ mendekati dengan target yang diinginkan. Modul ini juga dilengkapi dengan *Overheat Protection* dan *Short Circuit Protection* sehingga alat akan menjadi lebih andal untuk penggunaan dalam jangka waktu yang lama, dan juga terdapat LED indikator untuk memudahkan pemantauan.

Rancangan Mekanik

Pada bentuk alat, terdiri dari 4 lapisan dimana pada setiap lapisan memiliki tujuan tertentu.



(a)



(b)

Gambar 8 Rancangan Bentuk Alat (a) & Kotak Konverter (b)

Pada bagian antarmuka knalpot-modul termoelektrik (TEM) memiliki mekanisme menghantarkan panas secara tidak langsung antara knalpot dengan TEM. Bagian ini memiliki lapisan – lapisan yang memiliki fungsi masing – masing. Dimana pada lapisan awal yang bersentuhan dengan knalpot dan sebagai penghantaran panas diawali dengan permukaan berbahan alumunium. Pada lapisan ini dipilih bahan alumunium dikarenakan bahan tersebut ringan, kuat, dan mudah

dibentuk. Alumunium juga merupakan material yang sering dipakai untuk keperluan otomotif. Material ini juga memiliki titik lebur yang cukup tinggi sebesar $660,32^{\circ}\text{C}$, sehingga cocok untuk knalpot yang memiliki panas maksimum $216,9^{\circ}\text{C}$.

Pada lapisan 2 merupakan bagian untuk menjaga agar panas tidak konduksi dengan lapisan di atas lapisan 2, sehingga panas akan dijaga berada pada bagian alumunium. Pada lapisan 2 diletakkan *Exhaust wrap* (pembungkus knalpot), sesuai dengan namanya alat ini biasa digunakan untuk membungkus knalpot agar knalpot tidak terasa panas ketika bersentuhan dengan pengendara, sehingga material ini cocok untuk diletakkan pada lapisan 2. Pada *exhaust wrap* dipotong sesuai dengan bentuk modul, sehingga dilubang tersebut diletakkan TEM hingga salah satu sisi TEM bersentuhan dengan alumunium sebagai sisi TEM yang panas (hot side).

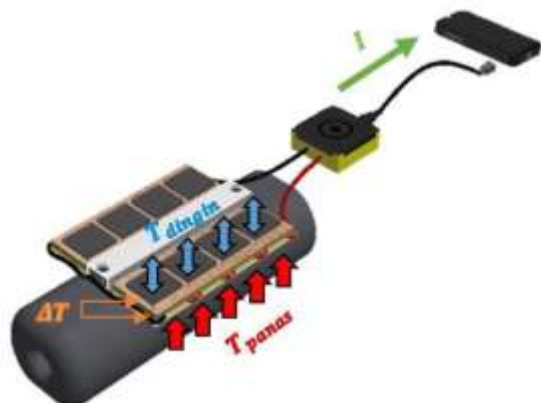
Setelah lapisan 2 dipasang, dilakukan peletakkan heatsink pada modul. Sebelum peletakkan heatsink dilakukan pengolesan *Thermal Paste* antara sisi heatsink dengan TEM. *Thermal Paste* berguna untuk menyalurkan panas dari TEM ke heatsink sehingga penyaluran panas agar lebih merata dan maksimal. Penggunaan *Thermal Paste* biasa diterapkan pada laptop/PC pada bagian *processor* ke *heatsink* sehingga cocok untuk keperluan TEG. Ketika panas tersalur secara baik, heatsink dapat melakukan pekerjaannya dalam sebagai media pertukaran panas antara sisi dingin TEM dengan menerima panas dan melakukan pelepasan panas dengan suhu udara pada saat penggunaan sepeda motor.

Pada lapisan 3 merupakan lapisan yang menggunakan material *Glasswool*. Material *Glasswool* merupakan bahan peredam panas yang terbuat dari serat fiberglass yang dibentuk menyerupai wool. *Glasswool* biasa digunakan pada atap rumah, sehingga cocok untuk digunakan pada lapisan 3 alat sehingga panas lingkungan luar tidak mengganggu TEG. *Glasswool* memiliki banyak kelebihan diantaranya tahan terhadap panas karena merupakan material peredam panas, ramah lingkungan karena *Glasswool* terbuat dari bahan daur ulang, tidak bersifat korosif terhadap logam, tidak menyebabkan pertumbuhan bakteri dan jamur dan juga ringan.

Pada lapisan 4 merupakan lapisan terluar, dimana menggunakan material kayu. Dengan material kayu yang memiliki sifat penghantar panas yang buruk sehingga dapat membantu dalam menjaga suhu sisi dingin TEM lebih kecil daripada sisi panas TEM. Material ini dipilih karena memiliki kekuatan yang baik dan memiliki sifat yang keras sehingga dapat membantu lapisan 2 dan 3 tetap pada tempatnya. Pada keempat lapisan disatukan menggunakan baut yang tahan panas dan sudah diberi isolasi seperti cat agar panas tidak terkonduksi dengan baik.

Gambar 8 (b), merupakan tempat bagi komponen konverter agar terpisah dari panasnya knalpot sehingga konverter dapat bekerja dengan maksimal. Ukuran tempat konverter tidak besar yaitu berdimensi $75\text{ mm} \times 75\text{ mm} \times 27\text{ mm}$. Dari kotak konverter dihubungkan dengan kabel data menuju peralatan listrik.

Mekanisme Alat



Gambar 9 Mekanisme Alat

Alat bekerja diawali dengan aluminium menyerap panas knalpot sehingga dapat memanaskan sisi panas TEM, hal ini dilakukan agar panas yang diterima oleh TEM merata karena permukaan knalpot yang melengkung, sehingga diperlukan penghubung yang dapat meratakan panas pada sisi TEM, lalu pada sisi dingin TEM menggunakan heatsink yang mampu sebagai media pertukaran panas dengan kondisi suhu lingkungan dan bantuan angin saat mengendarai sepeda motor, pada bagian tengah alat ditempatkan sebagai isolasi

antara sisi panas dan dingin TEM, dengan demikian alat memiliki peluang yang baik untuk menciptakan perbedaan suhu (ΔT)

sebesar 60°C dan menciptakan listrik, lalu listrik dialirkan ke konverter untuk merubah nilai tegangan dan arus, dari konverter dihubungkan dengan kabel data sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik dengan demikian alat berhasil membangkitkan listrik untuk pengisian daya 10 W ke peralatan listrik.

TABEL 3 PERBANDINGAN ALAT KONFIGURASI SERI-PARALEL DENGAN SERI

SPESIFIKASI	KONFIGURASI SERI-PARALEL	KONFIGURASI SERI
	PARALEL	SERI
Perbedaan Suhu (ΔT)	60°C	
Dimensi (Tanpa Konverter)	$164,3\text{ mm} \times 205\text{ mm} \times 23,135\text{ mm}$	
Tegangan & Arus Sebelum Konverter	$4,8\text{V} \ \& \ 1,876\text{A}$	$19,2\text{V} \ \& \ 0,469\text{A}$
Tegangan & Arus Setelah Konverter	$\leq 5\text{V} \ \& \ \leq 1,8\text{A}$	$\leq 5\text{V} \ \& \ \leq 1,8\text{A}$
Overheat Protection & Short-Circuit Protection	-	\checkmark
Daya TEG	$\leq 9\text{W}$	$\leq 9\text{W}$

PENUTUP

Kesimpulan

Perencanaan pembangkit listrik pada sepeda motor menggunakan TEG memiliki kesulitan dalam menjaga suhu pada kedua sisi dan letak penempatan TEG. Dengan hasil perancangan yang sudah dipaparkan dengan perhitungan, rancangan, dan pemilihan material yang sesuai dapat membantu menyempurnakan rancangan TEG pada sepeda motor. Rancangan memiliki 2 konfigurasi dimana pada konfigurasi seri memiliki keluaran akumulasi TEM yang baik yaitu sebesar $19,2\text{V}$ dan $0,469\text{A}$ pada $\Delta T = 60^\circ\text{C}$, lalu dengan bantuan adanya modul konverter yang dikhususkan untuk menurunkan tegangan dan memiliki spesifikasi yang dapat menstabilkan tegangan dan arus keluaran sebesar $\leq 5\text{V} \ \& \ \leq 2\text{A}$ dengan syarat tegangan masukkan konverter diantara $6,5\text{V} - 40\text{V}$, sehingga TEG dengan keluaran diantara syarat

tegangan dapat bekerja dengan baik untuk membangkitkan daya $\leq 9\text{ W}$.

Dibanding dengan konfigurasi seri-paralel memiliki keandalan yang kurang baik, ketika tegangan pada setiap cabangnya memiliki perbedaan nilai, sehingga dapat menyebabkan panas dan memiliki rangkaian yang lebih kompleks dalam realisasinya. Dalam perancangan alat ini juga mampu untuk dilepas pasang atau bisa disebut portabel sehingga memudahkan untuk dilakukan pemeliharaan atau memindahkan alat ke sepeda motor lainnya dengan bentuk knalpot yang sama.

Dengan demikian pemilihan konfigurasi seri karena memiliki keandalan alat yang lebih baik dan rangkaian yang lebih sederhana. Hasil ini masih dalam tahap perancangan, diperlukan tahap eksperimen untuk membuktikan rancangan tersebut dapat berjalan dengan baik atau tidak, karena pada eksperimen akan menemukan perubahan nilai yang diakibatkan oleh faktor – faktor yang hanya ditemukan saat dilakukan eksperimen

REFERENSI

- M. Rodif, “Pemanfaatan Sensor Peltier Sebagai Penghasil Energi Listrik pada Media Knalpot Motor Injeksi Revo FI 110 CC,” pp. 1–16, 2020.
- Faiz Ramadhan and Prima Jiwa Osly, “Analisis Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau Dan Kecukupannya Di Kota Depok,” *J.Infrastruktur*, vol. 5, no. 1, pp. 7–11, 2019, doi: 10.35814/infrastruktur.v5i1.663
- S. Suryakant Solanki, A. Balkrishna Chavan, O. Nandkumar Tharwal, T. Mohan Ghadi, S. P. Sawant, and S. Sakharan Bondre, “Design and Implementation of Termoelektrik Energy Harvesting System with Termoelektrik Generator for Automobiles Battery Charging,” *Proc. Int. Conf. Inven. Commun. Comput. Technol. ICICCT 2018*, no. Iccict, pp. 131–134, 2018, doi:10.1109/ICICCT.2018.8473156.
- A. W. . J. Culp, *Prinsip-prinsip konversi energi* / Archie W. Culp, Jr.; diterjemahkan oleh Darwin Sitompul, Kusnul Hadi. Penerbit Erlangga, 1989.
- R. Wirawan, “Analisa Penggunaan Heat Pipe pada Termoelektrik Generator,” pp. 1–59, 2012.
- N. Jaziri, A. Boughamouira, J. Müller, B. Mezghani, F. Tounsi, and M. Ismail, “A comprehensive review of Termoelektrik Generators: Technologies and common applications,” *Energy Reports*, no. xxxx, 2019, doi: 10.1016/j.egyr.2019.12.011.